

Sur les teneurs en micas des sables avec exemples pris en Guyane française

Boyé, Marc

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 14, 1962,
S.35-52



Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig

Sur les teneurs en micas des sables avec exemples pris en Guyane française

par Marc Boyé*)

Vorgelegt von Herrn André Cailleux, Paris

(Eingegangen am 4. 6. 1962)

Summary

I — Computing the content in mica flakes of several kinds of sands, expressed in percentage by number, with regard to the species and to five groups of grain-sizes, between 0,15 to 1,2 mm, P. Jandin found that:

— Loose sands from weathered rocks have an average content ten times higher (10%) than coastal sediments (1%); when the two micas are present in the parent-rock, biotite predominates, mostly at the smallest and mean sizes.

— On sea-shores, the content in muscovite of beach-sands is tantamount to that of the biotite, but the smaller sizes are rare due to the differential sorting towards the open-sea; whereas on sand-dunes, muscovites, as well as the larger sizes, predominate (winnowing effects of the wind).

— In submarine sands, notable contents of biotite point to volcanic parent-rocks, which are the more acid the higher the percentage is; muscovite always indicates the metamorphic origin of the parent-rock.

— When a loose sand is entering the sedimentary transit, the percentage of micas decreases at once (1/5 or more).

According to P. Jandin, the distribution of micas in sands depends on three factors:

— Higher vulnerability of biotites to chemical weathering.

— Better withstanding of muscovites against breaking-off processes.

— Differential effects of sorting with regard to the sizes of the flakes and the transporting agents.

II — As generally admitted, the two main factors controlling the alteration of crystalline rocks are hydrolysis and oxydation. But we have to recall the mechanical effects resulting from such chemical processes. So we have preferred to use, in the present note, the word "dislocation", after Henin and Pedro, who successfully experimented artificial weathering of rocks under action of perhydrol.

We applied that method to several rocks from French Guiana and we realized that it was a convenient way of estimating the degree of alteration of the rocks dealt with. Concerning the proper withstanding of micas, we may draw out the following conclusions:

— White potash-micas weather slowly, mainly through hydrolysis; they cleave more than they break and the flakes tend to keep the original sizes of the crystals.

— Black micas (ferro-magnesian) quickly react to oxydation by expanding with, as a result, a yellow-brown bronze lustre ("mordorisation"); but the breaking-off occurs together with the cleaving, so that the flakes tend to powder-sized grains.

*) Sédimentologue à l'Institut Français d'Amérique Tropicale à CAYENNE, Guyane Française.

— *Phyllosilicates of the Chlorite group, in loose sands, weather in an intermediate way between muscovite and biotite.*

III — *Consequently, we have to be very careful when interpreting the content of micas in a sediment:*

— *Muscovites are the only ones to suffer several sedimentary cycles. The grain-sizes decrease quite gradually under mechanical processes. As a result, the sorting of flakes is closely related to the different types of transport and quite conditionned by the changes in competency.*

— *Biotites suffer highly from any climatic oxydizing condition and quickly disappear at the same time owing to breaking-off and weathering actions. Most of the time, high contents of biotite indicate special cases: proximity of parent-rocks, volcanic origin ...*

— *Chlorites are very rare in sedimentary sands.*

So, to give a correct interpretation of mica content in a sample, we must take into account the geomorphology of the sampling spot and try to puzzle out the climatic conditions under which the sand was deposited.

From this point of view, river alluvia are the most difficult to deal with because of the mixing of sands from up-stream with lateral supplies; that depends on a complex of factors: lithology, type and speed of streams, climate conditions and even human land-utilization.

Nevertheless, it seems that the rivers of equatorial latitudes, running onto old shields, such as that of Guiana, should be quite convenient to field researches about mica contents in sands owing to the pretty simple environment.

Zusammenfassung

I. *P. Jandin* berechnete für verschiedene Sandarten den zahlenmäßigen Gehalt an Glimmerblättchen, drückte ihn, indem er die Spezies [Muskovit und Biotit] und 5 Korngrößengruppen von 0,15 mm bis 1,2 mm berücksichtigte, in Prozent aus und fand folgendes:

— Gesteinsgrus enthält durchschnittlich zehnmal mehr [Glimmer] (10%) als Küstenablagerungen (1%). Sind beide Glimmer im Muttergestein vorhanden, so herrscht Biotit meistens in der kleinsten und mittleren Korngröße vor.

— An der Meeresküste enthält der Strandsand ebensoviel Muskovit wie Biotit, doch kommen die kleineren Korngrößen in der unterschiedlichen Sortierung zur offenen See hin selten vor, wohingegen in Sanddünen Muskovit und größere Korngrößen vorherrschen (Sortierungsvorgang durch den Wind).

— In submarinen Sanden weisen beachtliche Vorkommen von Biotit auf vulkanisches Muttergestein hin, welches um so saurer ist, je höher sein Prozentsatz an Biotit; Muskovite zeigen immer den metamorphen Ursprung des Muttergesteins an.

— Wenn Grus in den sedimentären Transport eintritt, geht der Prozentsatz des Glimmer sofort zurück (4/5 oder mehr).

Nach *P. Jandin* hängt die Verteilung von Glimmer in Sanden von drei Faktoren ab:

— Höhere Anfälligkeit der Biotite gegen chemische Verwitterung.

— Bessere Widerstandsfähigkeit der Muskovite gegen Zerknacken.

— Unterschiedliche Sortierung entsprechend der Größe der Blättchen und der Transportkraft.

II. — Wie allgemein bekannt, beherrschen die zwei Hauptfaktoren Hydrolyse und Oxydation die Zersetzung von kristallinem Gestein. Jedoch müssen wir die mechanischen Vorgänge beachten, die sich aus solchen chemischen Prozessen ergeben. Deshalb haben wir es vorgezogen, im vorliegenden Aufsatz den Terminus „Dislokation“ nach *Henin* und *Pedro* zu benutzen, die erfolgreich künstliche Gesteinsverwitterung unter dem Einfluß von Perhydrol untersucht haben.

Wir wendeten diese Methode auf verschiedene Gesteine aus französischer Guayana an und stellten fest, daß sie ein brauchbarer Weg zur Abschätzung des Grades der Zer-

setzung des untersuchten Materials ist. Hinsichtlich der genauen Widerstandsfähigkeit von Glimmer können wir die folgenden Schlüsse ziehen:

— Weiße Kaliglimmer verwittern langsam, hauptsächlich durch Hydrolyse; sie spalten mehr als sie brechen, und die Blättchen haben die Tendenz, die Originalgröße der Kristalle zu behalten.

— Schwarze Glimmer (Magnesiaeisenglimmer) reagieren schnell auf Oxydation mit dem Ergebnis eines gelb-braunen Bronzeglanzes („Mordorisation“); jedoch vollzieht sich das Zerbrechen und Spalten gleichzeitig, so daß die Blättchen Staubkorngröße erlangen.

— Phyllosilikate der Chloritgruppe verwittern in lockeren Sanden zu einem mittleren Wert zwischen Muskovit und Biotit.

III. Folglich müssen wir sehr vorsichtig sein, wenn wir den Glimmergehalt in einem Sediment erklären:

— Muskovite sind die einzigen, die verschiedene Sedimentationszyklen überdauern. Die Korngröße nimmt unter der mechanischen Beanspruchung ganz allmählich ab. Im Ergebnis ist die Sortierung der Blättchen stark verwandt mit der unterschiedlichen Art des Transportes und ganz bedingt durch den Wechsel der Transportkraft.

— Biotite unterliegen in hohem Maße klimatischen Oxydationsbedingungen und verschwinden schnell, und zwar gleichzeitig durch Zerbrechen und Verwitterungsvorgänge. Ein hoher Gehalt an Biotit deutet zumeist auf Spezialfälle hin: Nähe des Muttergesteins, vulkanischen Ursprung ...

— Chlorite sind in Sandablagerungen sehr selten.

Um eine genaue Erklärung des Glimmergehaltes einer Probe geben zu können, müssen wir die geomorphologischen Verhältnisse der Probenentnahmestelle berücksichtigen und die klimatischen Bedingungen herauszufinden suchen, unter denen der Sand abgelagert worden ist.

Unter diesem Gesichtspunkt ist es am schwierigsten, sich mit alluvialen Flußläufen zu befassen, da die von flußaufwärts kommenden Sande durch seitliche Zufuhr gemischt sind; es kommt auf eine Gruppe von Faktoren an: Petrographie, Typ und Geschwindigkeit des Flusses, Klimabedingungen sowie auch die Landnutzung durch den Menschen.

Dennoch scheint es, daß die Flüsse äquatorialer Breiten, die auf alten Schilden, wie dem von Guayana, fließen, infolge ihrer ziemlich einheitlichen Umgebung zu Felduntersuchungen über den Glimmergehalt in Sanden ganz geeignet sind.

Dans un article récent, *P. Jandin* [1] expose les principaux résultats qu'il a tirés d'une étude des teneurs en micas de quelques sables. Ce travail, qui a fait le sujet d'un Diplôme d'Etudes Supérieures [2], montre qu'il vaut d'utiliser les teneurs en micas par espèces (micas blancs et micas noirs — les plus fréquents) et par classes de dimensions (0.15—0.25—0.50—0.80—1.20 mm) comme critères sédimentologiques.

I Analyse des travaux de P. Jandin

Pourcentages par espèces

Ils permettent de distinguer assez nettement une arène en place d'un sédiment, comme il ressort du tableau I. Trois catégories de faits paraissent bien établis:

I — La teneur en micas est environ dix fois plus élevée dans une arène que dans un sédiment évolué (plage ou dune) et les biotites y dominent très largement.

2 — Parmi les sédiments littoraux, les sables de plage offrent un mélange de biotites et de muscovites, tandis que les sables de dunes comportent surtout des muscovites, quand il y a des micas.

En fait, dans son texte, *P. Jandin* a voulu spécialement étudier les «couples plage marine et dunes voisines». La teneur en micas est alors en moyenne de 0 à 2 %, sauf dans le cas de petites plages directement alimentées en débris par une roche-mère toute proche (jusqu'à 6 %).

En calculant les moyennes générales et non plus les médianes, il trouve que celle du couple plage-dune est voisine de 1 %, avec autant de biotite que de muscovite pour les plages, tandis qu'il y a deux fois plus de muscovite que de biotite pour les dunes. L'élimination relative des biotites est attribuée au vannage éolien.

Tableau 1: Teneurs en micas d'après *P. Jandin* [1]

Types de matériaux	Nombre	% de micas		% de muscovite		Observ.
		valeurs extrêmes	valeur médiane	valeur médiane	valeurs extrêmes	
Arènes d'altération ...	13	2 à 20	9	2	0 à 5	(a)
Rivières de pays chauds humides ...	3	0,1 à 1,1	0,5	—	0,4 et 0,5	(b)
Plages marines	22	0 à 5	0,7	0,2	0 à 11	} (c)
Dunes littorales	18	0 à 6	0	0	0 à 5,8	
Sables sous-marins (origine volcanique)						
— Basalte	1	—	0,5	0		(d)
— Andésite	3	0,9 à 7,5	2,6	0		
— Trachyte	1	—	50,0	0		

Observations:

- (a) l'un des échantillons contient 6% de biotites et 3% de chlorites; pas de muscovite.
 (b) Deux échantillons de Guyane Française, et un du Brésil (ruisseau).
 (c) C'est nous qui avons distingué sur le tableau les dunes littorales des plages marines.
 (d) Données tirées des travaux de *Neeb* [3] sur les sédiments de la Mer de la Sonde; 5 échantillons types choisis par *P. Jandin*.

3 — La teneur est variable, mais toujours notable, pour les sables sous-marins. Dans des cas particuliers, comme celui des biotites provenant de roches volcaniques, les teneurs permettent d'apprécier l'acidité ou la basicité de la roche-mère: les pourcentages en biotite par rapport aux autres minéraux sont 100 fois plus forts pour un sable provenant d'un trachyte que pour un sable provenant d'un basalte.

Examen des répartitions par classes de dimensions

- 1 — Dans l'ensemble, pour une arène: «... l'ordre de grandeur des micas n'est pas très différent de celui des roches-mères» [1]; chaque cas particulier comporte néanmoins des différences. La muscovite, bien que en moyenne plus rare, serait relativement plus abondante aux dimensions supérieures à 0,80 mm.
 2 — Par contre, pour les couples plage-dune, la classe 0,15 mm est faible ou

nulle, tandis que vers 0,80 mm, quand il y a des micas, le pourcentage est plus élevé; ce qui est particulièrement sensible pour les muscovites.

Dans ses conclusions, *P. Jandin* attribue les différences entre arènes et sédiments aux trois effets suivants: altérations chimiques, cassures mécaniques, triages.

Nous ne commenterons pas les effets de triage. A la suite de *Crommelin*, *Neeb* et *Nesteroff* (cités en [1]), il est clairement montré que les sables sous-marins présentent des pourcentages de micas plus élevés que les sables littoraux et d'autant plus élevés que la taille des plaquettes est plus petite; c'est donc une question d'entraînement des micas en suspension vers le large, facilité par la forme en plaquette.

II Etude critique sur les micas des arènes

Il est certain que l'essentiel de la différence des teneurs en micas entre les arènes et les sables sédimentaires tient aux altérations chimiques et aux cassures mécaniques, en ce que leurs effets s'ajoutent, mais selon des dosages variables. Ce sont ces dosages qu'il faut préciser qualitativement et si possible mesurer.

Processus d'arénisation

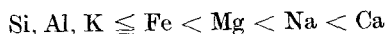
Provenant de l'altération in situ de roches cristallines, les arènes sont avant tout le résultat d'une rupture des édifices des silicates par suite d'actions chimiques, dont les principales sont l'hydrolyse et l'oxydation.

1 — L'hydrolyse: On sait qu'elle résulte du comportement électrolytique de l'eau. La substitution des ions H^+ de l'eau aux cations des silicates (peut-être aussi l'échange, radicaux OH^- contre ions O^-) fait céder les liaisons assurant la stabilité entre les édifices polyédriques du bâti cristallin (4—5—6). La matière peut alors soit migrer à l'état de solutions ou de suspensions colloïdales en pseudo — solution, soit participer à des réarrangements moléculaires, à partir notamment des gels d'alumine, pour donner naissance à des minéraux argileux comme la kaolinite ou à des phyllites de néoformation, comme la sérécite.

Il faut donc que de l'eau puisse pénétrer la roche, d'où l'importance des diaclases, des fissures et de la porosité de la roche. Dans son étude sur les modelés en Côte d'Ivoire forestière, *G. Rougerie* [4] fait ressortir le rôle majeur de l'eau du sol et il rappelle que pour une élévation de température de 10° l'efficacité de l'hydrolyse double. C'est pourquoi le phénomène prend une telle ampleur sous climats chauds et humides.

Les conditions d'imprégnation par l'eau conduisent *N. Leneuf* [5], dans son travail sur l'altération des roches granitiques en Côte d'Ivoire également, à envisager la sérécitisation des plagioclases comme «une première manifestation de l'altération», antérieure à la phase de «blanchiment». En effet, à degré d'imprégnation par l'eau plus avancé, une fissuration des feldspaths se produit et s'accroît, ce qui donne l'aspect crayeux si caractéristique du front d'attaque chimique des roches granitiques. A son tour, cette fissuration prépare la phase de développement des colloïdes argileux, qui donne les «argiles tachetées», où *Leneuf* constate la prédominance de la kaolinite.

L'efficacité de l'hydrolyse dépend aussi de la mobilité relative des éléments expulsés par les ions H^+ . Dans son étude sur l'altération des granites en pays tempérés, *D. Collier* [6] propose l'échelle suivante: «... par ordre de mobilité croissante:



celle de Ca étant largement plus élevée que les autres».

Intervient encore la structure cristalline et notamment le type de coordination entre tétraèdres SiO_4 et AlO_4 . A ce titre les micas, où les tétraèdres sont associés en plan, seraient en principe moins résistants que les feldspaths où les tétraèdres sont associés dans tous les plans. Toutefois la teneur en potassium modifie cette donnée et *Rougerie* [4] peut proposer l'échelle de vulnérabilité suivante, dans l'ordre croissant:

- Quartz
- Muscovite
- Feldspaths potassiques
- „ calco-sodiques
- Biotite
- Amphiboles
- Pyroxène
- Olivine

Dans cette échelle nous situons les chlorites entre feldspaths potassiques et feldspaths calco-sodiques, car, malgré leur composition chimique très variable, ces phyllites ne contiennent pas de potassium et donc sont plus vulnérables que les micas à tenons interfoliaires K; par contre elles sont en général pauvres en fer, ce qui les rend plus résistantes que les micas ferro-magnésiens.

2 — L'oxydation: Les phénomènes d'oxydation, bien que secondaires, entrent également en ligne de compte dans l'altération des roches. On sait que les minéraux des roches, pour une part au moins, contiennent du fer à l'état ferreux (FeO). C'est le cas général des minéraux ferro-magnésiens, la biotite entre autres, qui cependant est, parmi les micas, celui qui contient le plus d'oxyde ferrique (Fe_2O_3).

Ainsi, lorsque l'hydrolyse a libéré le fer ferreux des réseaux, toute cause d'oxygénation, comme l'aération ou l'activité de certaines bactéries provoque l'oxydation en fer ferrique.

Or les oxydes de fer, de même que l'alumine, réagissent à l'hydratation pour donner toute une gamme d'hydroxydes en suspension colloïdale, plus ou moins aptes à précipiter en milieu alcalin, voire à cristalliser sous forme de goéthite ($Fe_2O_3 \cdot H_2O + n H_2O$) ou de gibbsite ($Al(OH)_3$).

L'élévation de température active ces phénomènes; c'est la ferralitisation, assez bien connue aujourd'hui (cf. 4) sous les climats tropicaux, à la suite des nombreuses recherches sur la latéritisation.

Même en laissant de côté les phénomènes de tassement pouvant résulter d'une exportation de matière par drainage des solutions ou pseudo-solutions en dehors du profil d'altération, on sait que l'hydrolyse et l'oxydation s'accompagnent de variations de volumes. Elles introduisent des effets mécaniques — soit contrainte, soit détente — au sein de la roche en décomposition. Le résultat

est une dislocation, terme parfaitement convenable, surtout lorsque l'on parle d'arénisation de roches grenues.

Nous empruntons ce terme aux travaux de *Henin* et *Pedro* [7—8], qui se sont livrés à des expériences de dislocation artificielle par l'effet oxydant de l'eau oxygénée sur diverses roches. Or micas et phyllites sont en moyenne très vulnérables à toute action physico-chimique déterminant un gonflement.

Influence des processus d'arénisation sur la taille des grains de micas

Dans son travail de 1960 [2], *P. Jandin* notait que dans les arènes, les micas blancs offrent en moyenne des dimensions plus grandes que la biotite, pour les cas où les deux micas sont représentés dans la roche-mère. Pour l'expliquer il propose deux hypothèses:

- 1^{ère} hypothèse: «Les cristaux de muscovite seraient généralement plus grands que ceux des biotites dans la roche-mère et l'attaque des deux micas serait identique ...».
- 2^{ème} hypothèse: Elle suggère que les dimensions originelles seraient équivalentes mais que l'attaque chimique serait plus facile sur les biotites que sur les muscovites.

La première hypothèse doit être écartée car l'attaque chimique n'est certainement pas identique sur les deux micas. *J. L. White* [12] vient de démontrer par une étude diffractométrique sur des muscovites, artificiellement altérées au moyen de nitrate de lithium fondu, que le rapport d'intensité des raies 001/002 varie en raison inverse de la teneur en potassium. L'application de cette relation à des échantillons de sols micacés montre que les feuillets de mica s'écartent: «... quand la teneur en potassium est réduite à la moitié de sa valeur normale (3 à 4 % de potassium)».

On peut donc s'attendre à ce que l'altération des muscovites produise essentiellement un clivage, selon un processus relativement lent, puisque le potassium est celui des alcalins qui disparaît le moins vite.

Par ces décollements de feuillets s'expliquerait assez bien l'aspect terni dans la masse que présentent habituellement les muscovites altérées. Ainsi s'expliquerait aussi, par un drainage plus rapide du potassium sur les bordures du cristal, les échancrures marginales caractéristiques des micas blancs en voie d'altération, comme s'ils avaient été ébréchés.

Il reste que nous avons aussi observé en Guyane, dans des éluvions sur un granite à deux micas (Savane Moucaya, à l'Ouest du dôme d'Organabo) que les paillettes résiduelles de muscovite sont toujours *plus grandes* que celles de biotite mais *moins nombreuses*. Il faut ajouter qu'elles sont aussi moins épaisses.

La deuxième hypothèse est beaucoup plus près du réel: les biotites sont manifestement très vulnérables aux altérations chimiques; encore faut-il voir pourquoi. Les travaux de *St. Henin* et *G. Pedro* [7—8] donnent, par voie expérimentale, une explication parfaitement transposable dans la nature.

Ces deux auteurs ont traité [7] un morceau de 21 gr de granite à biotite, à chaud (environ 80°), dans 70 ml d'eau oxygénée à 110 volumes. La désagrégation débuta très vite et en 4 opérations de 16 heures au total elle fournissait, en débris monocristallins, 46,3 % du poids initial. Après une phase de frag-

mentation brutale en grains polycristallins, la dislocation des unités cristallines s'opère par l'exfoliation des biotites, lesquelles prennent un aspect mordorisé puis se pulvérisent.

Reprenant l'expérience sur 35 échantillons de roches cristallines diverses, mais à froid et pendant des durées plus longues, *G. Pedro* [8] a constaté que :

- Toutes les roches à biotite sont très vulnérables, quelles que soient les structures et les dimensions des grains;
- elles sont d'autant plus vulnérables qu'elles contiennent beaucoup de biotite;
- au contraire, les granites à muscovite ou amphibole semblent invulnérables. *Pedro* affecte au pouvoir oxydant de l'eau oxygénée la valeur d'un réactif déclenchant le processus sur les biotites. Il écrit : «On peut attribuer l'expansion puis l'exfoliation des plaquettes à l'expulsion des tenons K interfoliaires compensant l'oxydation du fer ferreux de la couche octaédrique». Et il conclut qu'une telle arénisation demande un «couple» de conditions : une cause chimique — l'oxydation — et une condition minéralogique — la présence de biotite —.

Pedro ajoute qu'une transposition du phénomène dans la nature semble appeler : «... l'existence d'un milieu caractérisé par des précipitations même intenses mais de courte durée et des températures élevées qui favorisent l'oxygénation répétée des matériaux».

C'est très exactement ce qui se passe en Guyane, pays équatorial humide certes, mais à saisons sèches assez marquées, en liaison avec les déplacements de la zone intertropicale de convergence (Z. I. C.) qui commande l'écoulement des masses d'air des Alizés (N. E. humide — S. E. sec). Toutefois, même en hivernage, les abats d'eau sont brefs bien qu'intenses. Il est rare de passer une journée entière sans voir le soleil briller.

Quant aux températures des sols, le Service Météorologique de la Guyane (17) peut d'ores et déjà fournir quelques indications :

- Sous forêt, la moyenne est de 24°, avec des minima de 21°—22° et donc des maxima toujours inférieurs à 30°.
- Sous gazon, la moyenne est de 32°, avec des maxima de 45°.
- Pour le sol nu, la moyenne est de 35°, avec des maxima de 50°.
- Sols nus et sols sous gazon présentent les mêmes minima : 25°—26°.

Si l'on adopte, avec de nombreux auteurs, la température de 25° comme valeur critique pour ce qui concerne l'activité microbienne dans le sol, on voit que la forêt maintient un équilibre précaire, tandis que les abattis avec ou sans gazon dépassent largement la température critique. En outre l'hydrolyse a chance d'être 2 à 4 fois plus active dès qu'il y a défrichement.

Il faut donc s'attendre, sous de tels climats, à ce que les teneurs en micas soient plus élevées sous forêt que dans les savanes, à conditions lithologiques équivalentes. De même les actions anthropiques, telles que façons culturales, sont de nature à modifier la répartition des micas dans les sols, spécialement à activer la disparition des micas ferro — magnésiens.

Pour répondre aux préoccupations de *P. Jandin*, on peut donc dire que ce qui compte, ce n'est pas la dimension originelle d'un cristal de mica, mais bien la vulnérabilité différentielle, selon l'espèce, aux actions physico-chimiques.

Essais de dislocation artificielle de roches de Guyane

L'intérêt de la méthode de dislocation par l'eau oxygénée est de permettre l'évaluation de cette vulnérabilité, en faisant varier les durées de traitement et les concentrations de l'eau oxygénée. C'est ce que nous avons fait sur diverses roches cristallines de Guyane au cours de recherches où nous voulions surtout réaliser des granulométries globales des débris obtenus (9—10—11).

Le tableau II montre, dans l'ensemble, que le traitement à l'eau oxygénée peut servir d'indicateur du degré d'altération de la roche.

A degré d'altération égal, un granite à muscovite ou à chlorite résiste mieux qu'un granite à biotite et même à une grano-diorite riche en biotite.

Toutefois, si l'on prend les échantillons de roches pratiquement saines ou peu altérées, on constate qu'un para-granite à chlorite résiste mieux qu'une grano-diorite à biotite et hornblende et celle-ci, mieux qu'un paragneiss à biotite et grenat.

Il y a lieu de penser qu'un granite à muscovite sain eût encore mieux résisté. On voit en effet sur le tableau qu'à concentration égale de l'eau oxygénée, il a fallu deux fois plus de temps pour disloquer un granite à muscovite très altéré (Ech. Galibi) qu'un para-granite à chlorite, dont les feldspaths sont pourtant moins altérés (Ech. sondage Coswine, prof. 69 m).

Nous retrouvons là les normes de *G. Pedro* [8]. Il reste à voir l'influence du traitement sur les dimensions des micas, selon l'espèce minérale et le degré d'altération de la roche-mère.

1 — Granite Galibi: L'échantillon traité est un granite alcalin appartenant à la venue magmatique la plus récente, connue dans le Précambrien guyanais (cf. *B. Choubert*, [14]). Ce granite ne contient que de la muscovite; il aurait dû résister à l'action de H_2O_2 . Mais, *P. Lelong* [15] signale que la roche était très altérée in situ et qu'elle montrait des feldspaths séricitisés.

Après traitement, on peut voir:

- de grosses plaquettes de muscovite, isodiamétriques, supérieures au millimètre, qui correspondent aux dimensions apparemment prédominantes dans la roche-mère, mais elles sont moins épaisses;

- quelques autres groupes de dimensions, non mesurées;

- enfin, une quantité notable de particules comprises entre 37 et 100 microns.

Dans ce cas c'est donc le clivage qui a prévalu. Certes, des brisures transverses ont dû se produire car les feldspaths ont également cassé selon leurs propres plans de clivage, provoquant un émiettement des bordures de cristaux de muscovite. Il est probable que les séricités ont réagi à l'eau oxygénée, contribuant à la dislocation des feldspaths. En effet, il est impossible de distinguer entre séricités et débris de muscovite dans la fraction entre 37 et 100 microns.

2 — Granites Caraïbes: Les para-gneiss à biotite et almandin, provenant des sondages d'Awara et de Couachi, sur la basse-Mana, sont typiques du métamorphisme d'âge caraïbe en Guyane. Ils appartiennent au cycle magmatique immédiatement antérieur au cycle galibi [14].

Sur tous les échantillons traités, l'action de l'eau oxygénée a fourni des paillettes de biotite de toutes les dimensions, mais dépassant rarement un diamètre maximum de 1 mm. C'est donc que clivages et brisures transverses ont amenuisé les cristaux de mica.

Tableau II

Type de Roche	Degré d'altération	Micas caractéristiques	Traitement par H ² O ² à chaud				Désagrégation
			Concentration	Durée	Nombre d'opérations	Température	
Granite Galibi alcalin (Ech. P. Lelong)	très altéré	Muscovite	110 Vol.	18 heures	4	80°	plus de 50%
Para Gneiss Caraïbe (Sondage d'Awara)	décomposé	Biotite	30 „	5 „	1	95°	97,5%
Para Gneiss Caraïbe à grenats (Sondage de Couachi)	décomposé altéré roche pratiquement saine	Biotite	30 „	5 „	1	85°	100%
Ech. prof. 31,75 m		„	30 „	5 „	1	85°	100%
Ech. prof. 40,50 m		„	(- a) 20 „	10 „	1	90°	27% } 85%
Ech. prof. 48,60 m			(- b) 130 „	21 „	4	85°	
Para-Granite Caraïbe calco-alcalin (Sondage de Coswine)	bien altéré peu altéré	Chlorite	130 „	9 „	2	75°	54 %
Ech. prof. 69 m		„	130 „	12 „	3	75°	25 %
Ech. prof. 79 m							
Grano-Diorite Hyleenne (Plateau du Mahury)	très altéré	Biotite	30 „	15 „	3	90°	76,2%
R. 2 { Masse mélanocrate		+ Hornblende verte	30 „	12 „	2	90°	95,8%
{ Bandes feldspathisées.							
R. 1 Coeur d'une boule de décomposition	très peu altéré	„	130 „	30 „	5	95°	46,6%

Marc Boyé

Dans le cas du sondage d'Awara, les feldspaths étaient déjà fortement décomposés in situ et le traitement a permis d'obtenir une désaggrégation très voisine de celle réalisée par la nature. En effet, dans le sondage, au-dessus de la roche altérée, se trouve une arène en place. La courbe granulométrique de cette arène est très voisine de celle obtenue avec les débris de la roche traitée à l'eau oxygénée [11]. Dans cette arène, les biotites sont décolorées ou bien chloritisées sur les bords, voire ornées d'un bourrelet ferrugineux. Cela rejoint les observations de *M. Berthois* (cité par *Jandin*, en [2]) sur les arènes de Forte de Arosa au Portugal. Ce bourrelet comme les biotites décolorées sont extrêmement fragiles. L'effet d'effritement concentrique sur de telles bordures fragilisées ne peut que contribuer à l'amenuisement des biotites.

Dans le cas du sondage de Couachi, on dispose d'un profil complet d'altération:

- Vers 31 m de profondeur, la roche très décomposée n'est pas reconnaissable. Les feldspaths sont très altérés et les biotites, fortement mordorisées, sont de dimensions très petites (max. 0,3 mm). Le traitement à l'eau oxygénée a achevé de disloquer les fragments polycristallins, mais les biotites n'ont pas changé de dimensions.
- Vers 40 m, la roche est altérée mais reconnaissable. La dislocation par l'eau oxygénée a été complète et a fourni des biotites de toutes dimensions. Toutefois les feldspaths semblent avoir souffert du traitement beaucoup plus que les biotites, qui se seraient, dans ce cas, plus clivées que brisées.
- Vers 49 m, la roche est saine. Après traitement, les biotites montrent surtout des brisures transverses et sont moins mordorisées que dans les deux cas précédents. Au contraire les feldspaths ont mieux résisté; la dislocation est restée incomplète. C'est donc que les biotites ont réagi plus par brisure que par clivage devant la solidité de l'édifice composé des autres silicates.

Les échantillons du sondage de Coswine présentent un cas particulier. C'est un para-granite calco-alkalin à albite et microcline, qui renferment de nombreux filonnets de séricite. Les phyllites sont représentées par un minéral vert pâle du groupe des chlorites, ce qui indiquerait un métamorphisme relativement faible.

B. Choubert (in litteris) précise que les chlorites sont des produits d'altération de la biotite des granites et donc ne peuvent, en aucun cas, être considérées comme un minéral primaire de granite. Quoiqu'il en soit, du point de vue des effets de dislocation où nous nous plaçons, l'échantillon Coswine — 79 m se présente comme une roche très cohérente.

Au traitement, l'échantillon le plus altéré (69 m) a donné plus du double de débris de dislocation que l'échantillon à 79 m. Dans les deux cas, les chlorites se présentent en deux classes de dimensions très nettes:

- Des paillettes de tailles moyennes (0,5—0,6 mm) à grandes (1 mm et plus), assez flexibles mais qui se pulvérisent quand on les plie;
- Une poussière abondante de particules très petites (0,1—0,2 mm) où les débris de chlorite sont associés à une grande quantité de séricites.

L'absence de dimensions intermédiaires, comme c'était le cas pour les muscovites du granite galibi, montre que les chlorites sont destinées à se pulvériser

à la moindre action mécanique. Cela tient à la complexité de leurs tenons interfoliaires qui les rendent flexibles mais non pas élastiques comme les muscovites. Par contre la présence de fer ferreux les livrent le cas échéant au gonflement provoqué par l'oxydation.

3 — Grano-diorites Hyléennes: L'exemple pris au Plateau du Mahury, au S. E. de Cayenne, permet la comparaison. Les venues magmatiques hyléennes [14] sont nettement plus basiques et beaucoup plus anciennes que les venues galibi et caraïbe, puisque entre temps s'est située la venue des granites guyanais.

Cette roche ferro-magnésienne montre, lorsqu'elle est fraîche, que l'association biotite-hornblende verte la rend moins vulnérable à l'effet de dislocation par l'eau oxygénée. Mais lorsque les feldspaths, ici plus sodiques, cèdent par hydrolyse, l'exportation du sodium en solution est aisée. Les contraintes se relâchent et l'oxydation des biotites progresse alors très vite; celle des hornblendes aussi. En tout cas l'amenuisement est la règle; des arènes prélevées dans les environs du gisement donnent des sables très fins (médianes de 150 à 200 microns) à quartz et biotite dominants, avec des courbes granulométriques très voisines de celles obtenues avec les débris de dislocation de la roche par H_2O_2 .

De cette étude sur les essais de dislocation de quelques roches guyanaises il ressort clairement les conclusions suivantes:

I — Les micas blancs, toujours potassiques*), s'altèrent surtout par hydrolyse, assez lentement, gonflent peu, se clivent plus qu'ils ne se cassent et tendent à conserver leurs dimensions d'origine, à quelques échancrures près.

Dans la nature, on conçoit qu'ils résistent, la muscovite spécialement, même lorsqu'ils entrent dans le cycle sédimentaire. L'amenuisement par effets de transport n'est certes pas exclu mais le triage soit fluvial, soit marin, intervient pour exporter beaucoup plus loin de la zone d'arénisation de départ, les paillettes les plus petites. Mais alors il est généralement impossible de distinguer entre débris de muscovite et paillettes de séricite.

Le devenir de ces débris est dans la formation d'argiles ou vases illitiques avec plus ou moins de vermiculite (selon les vues de *C. J. Rich* [13]) soit dans le dépôt sous forme de pelites. Les deux cas sont connus sur le Plateau continental des Guyanes (cf. *D. J. G. Nota*, [16]).

II — Les micas noirs, ferro-magnésiens, réagissent très vite à l'oxydation se mordorisent aussitôt, ce qui est signe d'un fort gonflement, exsudent de la limonite, se chloritisent éventuellement, se clivent et se brisent à la fois, imposant aux autres unités cristallines de la roche contraintes et détentes qui disloquent la roche. En retour les efforts différentiels jouent aux engrenures et finalement la biotite en particulier se pulvérise.

Certes l'hydrolyse opère concurremment, mais l'oxydation la gagne de vitesse. En Guyane tout au moins, la limonitisation de la biotite est un

*) Sauf cas très rares comme la margarite, calcique ou la paragonite, sodique.

devenir fréquent lorsque le grain originel a gardé une certaine cohérence et donc une certaine dimension. Le cas s'observe le plus souvent dans les colluvions.

Il est évident que, sauf conditions très particulières comme celles des sables d'origine volcanique de la Mer de la Sonde, les biotites ne sauraient résister longtemps dès qu'elles entrent dans le cycle sédimentaire, et d'autant moins que le cycle se déroule sous un climat chaud et humide. C'est pourquoi sur les littoraux, il y aura toujours plus de chance d'en trouver sur les plages que sur les dunes voisines. Même sur une plage, la présence de biotite indique que la roche-mère n'est pas très loin et, à conditions d'oxydation égales, on en trouvera d'autant plus que l'on se rapproche du gisement de départ.

III — Enfin les chlorites se comportent, dans une arène, de manière intermédiaire entre la muscovite et la biotite. Toutefois leur structure et leur composition chimique les vouent à une altération rapide en argile et, en supposant même que l'altération ne progresse pas, leur manque d'élasticité les voue à une pulvérisation encore plus rapide que celle des biotites.

C'est sans doute pourquoi les phyllites du groupe chlorite sont si rares dans les sédiments sableux.

Il convient donc d'être extrêmement prudent quant au sens à donner en sédimentologie aux critères combinés de l'abondance et de la taille des micas et phyllites selon l'espèce. Comme pour toutes les diagnoses sédimentologiques, il est indispensable de procéder à des recoupements par l'emploi d'autres critères.

Il est certain que la présence de micas de dimensions notables et un pourcentage abondant dans un matériau meuble désignent une arène ou tout au plus un sédiment en début d'évolution: colluvion, dépôt de ruissellement local, sable de plage au pied même d'une falaise taillée dans la roche-mère.

Par contre, dès qu'il s'agit d'un sédiment évolué, les comptages de micas ne peuvent qu'apporter leur part de confirmation à des présomptions concernant la roche-mère et donc la provenance. A ce titre la méthode rejoint celle des minéraux lourds avec ses avantages et ses inconvénients.

Il faut être au préalable assuré d'avoir débrouillé les divers types de transports subis; il faut encore avoir dénombré les cycles sédimentaires impliqués, seule la muscovite étant a priori capable d'en supporter plusieurs. Enfin — c'est le plus important mais aussi le plus difficile — il faut identifier sous quel climat la roche-mère a été désagrégée. Dès lors on n'échappe pas à la considération de l'influence des paléoclimats.

III De l'étude des micas dans les sables fluviaux

Dans ses travaux [1—2], P. Jandin n'a abordé la question des teneurs en micas dans les sables fluviaux que sur des cas très particuliers: deux sables de Guyane et un sable de ruisseau pris au Brésil, d'une part; de l'autre, interprétation des travaux de *Lydka* (cité en [2]) en Pologne sur l'évolution de la série des étages géologiques de la région de Cracovie, qui va du Westphalien au Trias inclus.

Tandis que l'étude de la Série de Cracovie montre l'intérêt que présentent les sédiments intermédiaires entre l'arène et le sédiment marin. L'interprétation faite sur les sables de Guyane prête à discussion et montre les précautions à prendre.

Série de Cracovie

Jandin dresse en tableau les résultats de *Lydka* et montre qu'il y a dans l'ensemble, entre le Westphalien, représenté par des arènes élaborées sous climats chauds et humides, et le Trias de plus en plus marin, une diminution progressive des teneurs médianes en micas de 24 % à 0 %.

D'après *Lydka*, les matériaux caractéristiques des étages dérivent les uns des autres selon une succession géologique qui est en même temps géomorphologique :

- Stéphanien, alluvial
- Permien, alluvial
- Permien, éolien
- Trias I, transition continental-marin
- Trias II, marin

De l'arène au sable: Sur le tableau dressé par *Jandin*, on note une brusque diminution des teneurs en micas entre les arènes westphaliennes et le Stéphanien alluvial. Cette diminution de l'ordre des 4/5 est en effet caractéristique de l'entrée d'un produit d'arénisation dans le cycle sédimentaire. La teneur dans le Stéphanien alluvial (5 %) est tout de même environ 5 fois plus forte que celle reconnue typique par *Jandin* pour un couple plage-dune. Même en faisant abstraction de toutes les chances de mélange de stocks sédimentaires différents — et sur une durée telle qu'entre Westphalien et Permien, il a dû s'en produire — ce qu'il faudrait saisir ce sont les termes de transition.

Compétence des agents de transport: L'évolution entre Stéphanien alluvial (5 %) et Permien alluvial (4 %) en donne déjà une idée, mais sur une telle durée les compétences ont certainement varié. Les micas sont trop sensibles aux moindres variations de la compétence d'un cours d'eau pour que l'on puisse tabler sur une évolution à l'échelle géologique. Pour interpréter correctement de tels résultats il faudrait connaître les régimes hydrologiques, celui des crues notamment et des variations correspondantes de la turbidité.

C'est ainsi que nous avons décrit en Guyane [10—11] un sédiment en tout début d'évolution, résultant d'un délavage presque parfait des quartz et minéraux lourds résistants de tout ce qui est hydroxydes et silicates fragiles, sous l'effet d'averses brutales et répétées mais courtes. Les transports sont locaux, brefs, à caractère torrentiel et des courbes granulométriques bimodales avec un bon classement aux abords de la médiane nous ont permis de définir ce que nous avons nommé «arènes de délavage». De tels dépôts sont fréquents au Quaternaire; ils permettent de discerner les périodes pluviales qui ont correspondu sous les latitudes équatoriales aux glaciations des latitudes tempérées. On en trouve aussi dans le Tertiaire. Or dans de tels sables, seules des muscovites s'observent, rares et presque toujours en grosses plaquettes, même dans les régions où les roches-mères comportent des biotites.

Vannage éolien: Par ailleurs, *Jandin* relève un brusque accroissement de la teneur en micas (11 %) au cours du Permien éolien. Ce fait donne évidemment du poids aux effets de vannage éolien que l'on enregistre sur les dunes et auxquels *Jandin* attribue la relative augmentation des teneurs en muscovite, quand il y en a. Encore faudrait-il s'assurer que cet accroissement corresponde bien à une concentration des micas disponibles sur place par vannage différentiel. Car il peut résulter aussi d'apports exotiques; ce que l'on sait de la grande puissance des vents permien oblige à envisager cette éventualité. Il nous semble que pour des séries géologiques anciennes c'est impossible à vérifier.

Sables de Guyane (Mana)

Sur deux échantillons venant de Guyane Française, l'un est pris à Mana, sur le fleuve de même nom, l'autre à la Pointe des Hattes, qui marque le confluent, en milieu estuarien, de la Mana avec le Maroni. *P. Jandin* [2] relève que ces sables ont des courbes de distribution de pourcentages selon les dimensions qui semblent du même type que celles des dunes de France qui remanient des sables tertiaires «... élaborés jadis sous climat chaud et humide».

Il est certain que le Tertiaire en France porte trace de climats à affinités tropicales. De là à évoquer un facteur climatique commun, c'est sous-entendre une combinaison commune entre intensité des processus d'altération et agents dynamiques responsables du triage puis de l'élimination des micas. Or les deux échantillons étudiés ne sont précisément pas des sables fluviaux.

Données géomorphologiques: Le site géomorphologique du lieu de prélèvement d'un échantillon n'est jamais indifférent. Nous connaissons bien la région de Mana [11]. Nous pouvons assurer que l'échantillon des Hattes, même si le matériau est d'origine fluviale, est un sable repris sur des plages et cordons littoraux plusieurs fois remaniés. Les granulométries globales que nous en avons accusent toutes un classement littoral.

Quant au sable venant du bourg de Mana, nous avons montré [11] qu'il y a eu à cet endroit un rivage qui a fonctionné à plusieurs reprises. Il marquait certainement la limite méridionale, dans ce secteur, de la transgression Lelydorp (Eémien supérieur). Il a également marqué, à la manière d'une falaise d'érosion — aujourd'hui morte — la limite de l'un des deux stades de la transgression Demerara (Flandrien, peut-être Dunkerquien?). Enfin la carte de l'Ingénieur *Bellin* (1752) y place un littoral sableux, ce qui explique que localement des cordons littoraux se trouvent plaqués contre la falaise morte. Comment alors expliquer que l'échantillon de Mana ne comporte que de rares muscovites, plus grandes que 0,5 mm ?

Régionalement le socle précambrien est constitué de gneiss à biotite; mais il est çà et là traversé de filons de pegmatites qui fournissent des muscovites. Nous connaissons mal le comportement de telles muscovites lorsqu'elles entrent dans le cycle sédimentaire. Par contre nous savons que les biotites disparaissent très vite.

Convergence d'actions dynamiques: Nous savons aussi que lorsque un cordon littoral sableux est exposé non seulement à la houle océanique mais encore, par son orientation, aux Alizés du N. E., les actions éoliennes de vannage ne

sont pas négligeables. Certes nous n'avons jamais trouvé ni grain de quartz rond-mat, ni même de dépolis éoliens sur les bois échoués, mais nous avons vu se former des ripple-marks éoliens et l'analyse granulométrique des crêtes de rides nous a donné des indices d'hétérométrie de 0,16 à 0,19, c'est-à-dire un excellent classement par le vent. A la vérité la distribution des micas n'avait pas alors attiré notre attention.

Il reste que la plupart des sables en cordon de la région de Mana ont subi de plein fouet les Alizés de N. E. chaque fois qu'ils étaient fonctionnels. Il n'y a donc finalement rien de surprenant à ce que ces sables par suite de vannage éolien présentent des caractères communs avec les dunes littorales de France quant aux teneurs en micas. Il y a seulement convergence d'actions dynamiques.

Pour qu'il y ait vraiment analogie d'évolution au sens où la géomorphologie climatique l'entend, il faudrait s'assurer que les sables tertiaires de France remaniés aient perdu leur biotite aussi vite et dans les mêmes conditions qu'en Guyane avant leur remaniement. C'est peu vraisemblable en raison des vicissitudes paléoclimatiques survenues depuis lors dans les climats des latitudes moyennes, lesquelles ont certainement influencé la diagénèse des minéraux phylliteux de toutes natures.

Rivières des pays chauds humides

Si donc *P. Jandin* a été induit en erreur par l'échantillonnage même des sables de Mana, en ce sens que l'analyse géomorphologique des lieux, ne dépendant pas de lui, ne supportait pas ses conclusions, il fait bien apparaître la difficulté de l'étude des teneurs en micas dans les sables fluviaux. Elle tient au double caractère des micas :

- Vulnérabilité, variable mais sensible, aux attaques chimiques.
- Aptitude à l'amenuisement par les agents mécaniques en raison de leur structure en feuillets.

Même dans l'ordre de l'amenuisement mécanique, *P. Jandin* fait remarquer, à propos des études de *Berthois* (cité en [2]) au Portugal, que les processus de l'amenuisement peuvent être compensés par la rapidité des apports en arène primitive. Là est la difficulté majeure d'une étude des micas dans un sable fluvial, car on ne saurait se limiter aux matériaux transportés de l'amont selon le profil en long du cours d'eau. Il y a tous les apports latéraux à considérer. Ces apports peuvent être, il est vrai, trop complexes et traduire une imbrication de facteurs mécaniques, climatiques, voire anthropiques.

Or, il est un milieu où la complexité est assez réduite et où le phénomène d'abattage de l'arène sur les berges d'un cours d'eau peut s'observer à l'état primaire: ce sont les boucliers anciens des latitudes équatoriales, tel celui de la Guyane.

C'est ainsi que l'on peut, le long d'un fleuve, suivre sur les courbes granulométriques de sable des variations et des anomalies de distribution. Elles sont dues soit à la présence d'un saut, lié à un affleurement de roches résistant mieux au pourrissement général, soit à un contact lithologique non souligné par un accident topographique, soit même, dans le cas de l'évolution d'un méandre sur une plaine alluviale, à la présence d'un relief de roche décomposée,

érodé sur rive concave. Comme les micas jouent toujours un rôle dans les dispersions aléatoires aux deux extrémités des courbes granulométriques, il serait étonnant qu'il n'y ait pas aux dimensions, correspondant aux tranches choisies par *Jandin*, des variations systématiques des teneurs en micas, selon l'espèce.

Il semble qu'un bief bien choisi, entre deux sauts de natures lithologiques différentes mais assez homogènes, limitant un bassin avec un cours à méandres touchant çà et là divers massifs de roches plus ou moins décomposées, serait un terrain idéal, pour ce type de recherche.

Conclusions

Les travaux de *P. Jandin* mettent en œuvre une méthode intéressante. C'est une idée valable que de faire parler les pourcentages respectifs de micas blancs et micas noirs en les groupant par tranches de dimensions.

Le critère de distinction entre une arène et un sédiment est à la fois sûr, commode et rapide.

Les actions éoliennes se reconnaissent assez bien, quand il y a des micas. Dans les sables sous-marins, les pourcentages respectifs d'espèces sont un bon indicateur de l'origine lithologique.

Toutefois, en ce qui concerne les sédiments évolués, spécialement les sables fluviaux, les critères proposés paraissent encore trop partiels. Les deux exemples utilisés par *P. Jandin* et que nous avons discutés, montrent bien la complexité des facteurs qui règlent la répartition des micas dans les sables.

Finalement c'est l'ambiance climatique qui commande directement ou indirectement ces facteurs: types de transit sédimentaires et compétence des agents de transport, types et vitesse des altérations physico-chimiques.

En outre, surtout pour les sédiments anciens, intervient le facteur durée, cause de variations et donc d'évolutions dans un sens qui peut n'être pas unique, ce qui donne tout son sens à la notion de cycle sédimentaire.

Le mérite de *P. Jandin* est d'ouvrir une direction de recherche qui pourrait bien aboutir à faire des teneurs en micas et phyllites dans les sables un véritable critère de géomorphologie climatique.

Références

- [1] *Jandin, P.*: Teneurs en micas de quelques sables —. Cahiers géologiques, 1961, N° 62—63, pp. 621—628.
- [2] *Jandin, P.*: Quelques caractères des micas dans les sables —. D. E. S. Fac. Sc. Univ. Paris — 1960.
- [3] *Neeb, Ir. G. A.*: The Snellius Expedition in the Eastern Part of the Netherlands East-Indies 1929—1930, Geological Results Bottom samples ... E. J. Brill — Leiden 1943.
- [4] *Rougerie, G.*: Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière —. Mem. N° 58 I. F. A. N. — Dakar 1960.
- [5] *Leneuf, N.*: L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés —. O. R. S. T. O. M. — Paris 1959.
- [6] *Collier, D.*: Mise au point sur les processus de l'altération des granites en pays tempéré —. Ann. Agron. 1961, 12 (3), pp. 273—331.
- [7] *Henin, St. et Pedro, G.*: Mise en évidence d'un effet de dislocation du granite à biotite par traitement à l'eau oxygénée —. Cr. Ac. Sc., T. 245, N° 17 (21 Oct. 1957) p. 1451

- [8] *Pedro, G.*: Considérations sur une forme de l'altération des roches: l'arénisation —. Cr. Ac. Sc., T. 248, N° 7 (16 Fév. 1959) p. 993.
- [9] *Boyé, M.*: Morphométrie des galets de quartz en Guyane Française. Rev. Geomorph. Dyn. XI^e Année, N° 1—2—3, 1960, pp. 13—27.
- [10] *Boyé, M.*: New Datas on the coastal sedimentary formations in French Guiana —. Fifth inter-Guiana geological conference — Georgetown 1959. Proceedings — Georgetown 1962.
- [11] *Boyé, M.*: La Géologie des Plaines basses entre Organabo et le Maroni — Guyane Française —. Sous presse, à paraître dans Mém. Serv. Carte géol. Fr. Départ. Guyane fr. — Paris Imp. Nat.
- [12] *White, J. L.*: X-Ray diffraction studies on weathering of muscovite —. Soil Science, V. 93, N° 1, 1962, pp. 16—21.
- [13] *Rich, C. I.*: Muscovite weathering in a soil developed in the Virginia Piedmont —. Clays and Clay Minerals —. Fifth Nat. Conf. on clays and clay minerals, Univ. of Illinois, Oct. 1956. Nat. Ac. Sc. — Nat. Research Cil. Publ. 566, pp. 203—212. Washington 1958.
- [14] *Choubert, B.*: Les granites précambriens des Guyanes et leur origine probable —. Mem. Serv. Carte géol. Fr. Départ. Guyane fr. Paris, Imp. Nat. 1960.
- [15] *Lelong, F.*: Liaison sol roche-mère en Guyane Française —. Note I. F. A. T., inédite, Cayenne 1959.
- [16] *Nota, D. J. G.*: Anciennes lignes côtières du Plateau continental de la Guyane occidentale —. Colloque de Sédimentologie, Marseille-Nice — Mai 1956. Rev. Inst. Pétrole, Vol. XII, N° 4 Avril 1957, pp. 432—439.
- [17] Renseignements aimablement fournis par Mr. *J. Fougerouze*, Chef de la Sous-région GUYANE-ININI — Météorologie Nationale. Groupe ANTILLES-GUYANE.